

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 24 OCT 2000

WIPO PCT

EJU

DE 00/03066

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 199 42 936.7

Anmeldetag: 08. September 1999

Anmelder/Inhaber: Siemens Aktiengesellschaft,
München/DE

Bezeichnung: Empfänger und Verfahren für eine optische
Informationsübertragung

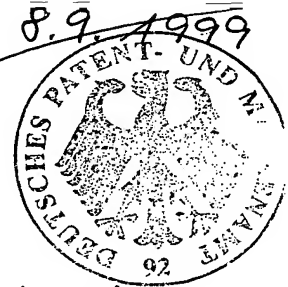
Priorität: 12.05.1999 DE 199 22 178.2
10.08.1999 DE 199 37 741.3

IPC: H 04 J, H 04 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 05. Oktober 2000
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Jerofsky



Beschreibung

Empfänger und Verfahren für eine optische Informationsübertragung

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren für den optischen Informationsempfang mit Polarisationsmultiplex/Polarisationsumtastung nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und einen Empfänger für solche Signale nach dem Oberbegriff des unabhängigen Patentanspruchs 6.

10

Polarisationsmultiplex (Polarization Division Multiplex, PolDM) kann zur Erhöhung der Kapazität eines optischen Übertragungssystems verwendet werden.

15

Im Tagungsband der European Conference on Optical Communications 1993, Montreux, Schweiz, S. 401-404, Beitrag WeP9.3 (F. Heismann et al., „Automatic Polarization Demultiplexer for Polarization-Multiplexed Transmission Systems“) ist ein optisches PolDM-Übertragungssystem beschrieben. Ein wesentliches Problem ist die Einregelung eines empfängerseitigen Polarisationsstrahlteilers derart, daß die beiden PolDM-Kanäle auf die beiden Ausgänge eines nachgeschalteten Polarisationsstrahlteilers aufgeteilt werden. Dazu wird ein Korrelations-signal des wiedergewonnenen Taktes mit dem empfangenen Signal gebildet und dieses wird durch Einstellung des Polarisationsstrahlteilers maximiert.

20

25

Die Vorgehensweise gemäß dem Stand der Technik hat mehrere Nachteile:

30

Zunächst verschwindet das Korrelationsprodukt bei Vorgabe einer reinen, wechsellspannungsgekoppelten Pseudozufallsfolge (eine solche war dort offensichtlich nicht gegeben) im zeitlichen Mittel, was die Regelung schwierig oder unmöglich macht.

35



prinzipiellen Aufbau eines Übertragungssystems
 Polarisationsmultiplex,
 en erfindungsgemäßen Empfänger,
 en Separator/Detektor für PolSK-Signale,
 Vektordiagramm linearer Polarisationszustände,
 e Ausführungsvariante eines Teils des Separators/
 Detektors,
 en Separator/Detektor für PolDM-Signale,
 en weiteren Separator/Detektor für PolDM-Signale,
 änzende Komponenten für PolDM-Signale und
 en PolDM-Sender mit nur einem Laser.

gt den prinzipiellen Aufbau eines Übertragungssystems
 polarisationsmultiplex (PolDM).

sind zwei optische Sender TX1, TX2 vorhanden,
 ogonal polarisierte optische Signale OS1, OS2 aus-
 se werden in einem sendeseitigen Polarisations-
 r PBSS kombiniert und können anschließend über ei-
 llenleiter LWL zu einem Empfänger RX mit einem
 Übertragen werden. Da der Lichtwellenleiter i.a.
 isationserhaltend ist, ergibt sich die Schwierig-
 eiden Signale OS1, OS2 wieder zu trennen. Statt
 itigen Polarisationsstrahlteilers PBSS kann auch
 er optischer Richtkoppler verwendet werden, was
 zu einem Leistungsverlust und schlechter definier-
 alität der Signale OS1, OS2 führt. Die optischen
 en mit Datensignalen SDD11 und ggf. SDD12 für den
 und SDD21, SDD22 für den Sender TX2 moduliert.

2 besteht der Empfänger RX hier aus einem Separ-
 r SD und nachgeschalteter Empfängerelektronik. Wie
 nger für Signale mit Polarisationsmultiplex oder
 asumtastung besteht der Empfänger RX seinerseits
 a Empfängern RX1, RX2, RX3, die jedoch erfindungs-
 weitere Baugruppen ergänzt werden. Die Komponen-

detektierte Signale
 an DDM1, DDM2 zugelei-
 besitzen, gleichzeitig
 multiplexen. Solche
 l J. of High Speed Elec-
 . 2 (H.-M. Rein, „Si and
 tical-fiber TDM links")

ogen 1:2-Demultiplexern
 eleitet. Es ist hier von
 DM2 keine Entscheider-
 en linear arbeiten und
 ale D11, D12, D21, D22
 ßig, die erforderlichen
 der Demultiplexer DM1,
 zu entnehmen. Es ist
 CL2 einer gemeinsamen

Demultiplexers DM1 wird
 gang von Demultiplexer-
 K12 korreliert. Das Kor-
 tiefpaßfilter L12 tief-
 eleitet, welcher ein

Demultiplexers DM2 wird
 gang von Demultiplexer-
 K21 korreliert. Das Kor-
 tiefpaßfilter L21 tief-
 eleitet, welcher ein

ieben funktioniert, muß
 Demultiplexer-
 ugt, auch Demultiplexer

ten mit einer
 gen und Signal
 teren Ausführu

5 Der Separator/
Figur 3 gezeic
 Eingang EI ein
 leitet, welche
 Ausgang ist ei
 10 welcher orthog
 gängen OUT1, C
 OUT1, OUT2 sol
 Signale OS1 bz
 neter Einstell
 15 pensators von
 OUT1, OUT2 wer
 che elektrisch

Da PolDM ein n.
 20 es empfindlich
 (PMD). In solc
 Kompensator PM
 19841755.1 und
 stransformator
 25 EI der Empfang
 chip SUB verbu
 onstransformat
 griert. Statt
 auch der PMD-K
 30 stransformator
 Tagungsband de
 1993, Montreux
 ben aufgebaut
 den deutschen
 35 möglich.

eweils anderen Empfang-
 hlende Korrelation be-
 In vorteilhafter Weise
 mator PT so einge-
 ngers RX1 Signale DD11,
 er Bitfehlerquoten zur
 ie Signale DD12, DD22
 e Signale entsprechen
 nnzeichneten sendesei-
 , SDD21, SDD22.

Wenn bei verbesserter
 : Bitrate Entscheidungen
 ommen werden können. In
 DM1, DDM2 keinen zweiten
 . Die Baugruppen DM1,
 3 die Analogsignale D11,

gler RP1, RP2, RP3, wel-
 de RP zusammengefaßt
 in Stellsignal SP1, SP2,
 9th European Conference
 14-16, 1999, Turin,
 17-19 (D. Sandel et al.,
 dispersion compensation
 zur Regelung des PMD-

prinzipiell ebenso auf-
 welcher in der gerade
 rieben ist und einfach
 Polarisationstransfor-
 des Reglers RG werden
 eführt, während die
 Kompensator PMDC zuge-

DM2 das Signal
 Korrelation. D
 Laufzeitabglei
 werden.

5

Die Korrelator
 oder als Multi
 anstelle der K
 ren die Korrel

10

D22 sowie zwis
 zip reicht abe
 besseren Unter

onsabhängiger
 ist es aber vo
 15 K21, die von F
 logsignalen D2
 Teilsignale O8

20

Die Analogsigr
 nes Entscheide
 Signalen, die
 den Demultiple
 den Ausgängen
 scheider durch
 erscheinende V

25

Die Regler RG
 RG zusammenge
 zum Separator,
 30 stransformatoi

Die Regler RG
 oder Proportio
 für, daß die :
 35 mindest näher
 schen den anal
 gnalen D11, D2

plex ist es günstig, den Korrelatorausgangssignale unterstützen durch Aus-
 ierten Signale. Dazu
 D1, LED2 vorgesehen,
 ED1, ED2, welche aus ei-
 werden, tiefpaßfiltern.
 man z.B. den Strom an
 messen, an der das Da-
 hat den Vorteil, daß das
 d daß durch die an der
 andene kapazitive Ab-
 nschte Tiefpaßfilterung

h beispielsweise die Si-
 werden.

LED1, LED2 angeschlos-
 Differenz dieser Signa-
 D12 kann, ggf. anstelle
 teres Tiefpaßfilter
 hierer SUBED12 kann als
 anderen Tiefpaßfilter
 gewonnene tiefpaßgefil-
 ktierten Signale ED1,
 gler RG zugeführt. Die
 ch zu der weiter oben
 iplex definierten Aus-
 esehen.

wird die Differenz
 r ausgangsseitigen Steu-
 eingeregelt. Ein vom
 wird durch etwaige
 on den Empfängern RX1,

Durch sendesei-
 Polarisationss-
 hängige Dämpfu-
 5 kann es zu rec-
 schen Signale
 es in solchen
 stungsteilers
 mit ggf. vorge-
 10 nachgeschaltet
 PBS1, PBS2 ein-
 sind die durch
 dungsgemäß err-
 skizziert. Die
 15 gonal zueinanc
 PBS1 transmitt
 OUT2, welches
 zu OS1. Daß OS
 OS2 nicht ider
 20 einem gewisser
 ist als ein st
 Stand der Tech-
 dukts) dann ei-
 identisch mit

25 Weitere Ausfüh-
 schen zwei An-

Schließlich kö-
 30 ED1, ED2 Signa-
 ggf. (langsame
 der sendeseiti-
 den. Dies ermö-
 derart, daß be-
 35 des Lichtwelle
 führt, sondern
 schen Signale

Verbindungen zwischen den
 Modulationsstrahlteiler PBSS
 als Lichtwellenleiter vor-
 gesteuert ist, oder es
 Modenwandler vorgesehen.
 Signale OS1, OS2 nach der
 Eigenschaft, die optischen Lauf-
 zeiten MO1, MO2 laufenden
 und Polarisations-
 verlusten. Genaugenommen sollte
 das Verhältnis $|DT1-DT2|$ und Kreis-
 verlust sehr klein gegen 1 sein.

üblichen hohen Datenra-
 um der Regel dadurch, daß
 $|DT1-DT2|$ klein gegenüber ei-

sonsmultiplexsignale mit
 sich gegenseitig sprechfrei aus-
 zwischen den Impulsen
 und den Impulsen der an-
 als Laufzeitdifferenzbe-
 rücksichtigungszahliges Vielfaches
 in der Regel erfüllen.

aufwendig oder nicht
 Abgleich zwischen den Teil-
 signalen einzuordnen, kann trotz-
 dem minimiert
 zwischen den Teilsignalen
 über den Winkel von 0° bis 360° im
 Bereich sein. Um dieses zu
 der TX1, TX2 in Figur 1
 jeweils einem unabhängigen
 Phasenverschiebungswinkel frei
 eine differentielle Pha-
 senverschiebung vorzunehmen. Dies

RX2 idealerweise
 Interferenz ka-
 nnel selbst wenn di-
 noch nicht auf
 5 weisendes Diff
 Ausgangssignal
 optischen Teil
 zwischeneinander
 tritt. Mit die-
 10 sches Übertrag
 rantesten bezi-
 lung eignet si-
 ch für Transformator
 sen Verzögerun-
 15 geeignete Anordn-
 Techn. 8(1990)
 4(1992), S. 50

Voraussetzung
 20 DIFED12 auf de-
 OS2 kohärent
 besser noch ei-
 Einschwingzeit
 durch die in
 25 TX1, TX2 in de-
 frequenzsignal
 mehrere MHz be-
 gemäß **Figur 9**
 chen. Hier wird
 30 eine Koppler
 wellenleiter
 ansonst erhaltender
 Signale werden
 die Modulation
 35 prägt und so
 den. Diese wer-
 Polarisations-

sformatoren PT2', PT3'
 larisationstransformato-
 UT11, OUT12, OUT21,
 strahlteiler sind Photo-
 PD32 angeschlossen, de-
 rern SU1, SU2, SU3 zu
 1, ED2, ED3 weiterverar-

ng der Polarisations-
 Betragsminimierung der
 , L21, L22, L31, L32 ge-
 durch Korrelatoren K12,
 Korrelationsprodukte

ren PT1, PT2, PT3 noch
 als elektrische detek-
 elektrische Detektions-
 der Stokes-Parameter S1,
 als am Eingang EI sind.
 ansformatoren können
 staltet werden, daß je-
 OS1 mit horizonta-
 durch Einstellung von
 t $\pm 45^\circ$ Erhebungswinkel
 OS3 mit rechts-
 durch Einstellung von
 sationsorthogonalität
 PT2' und PT3' feste Po-
 gerade genannten Beispiel
 in linear mit 45° oder
 gnal am dem Leistungs-
 larisationstransforma-
 kal polarisiertes Signal
 zugewandten Ausgang
 2' umwandeln. Ebenso muß

kann durch ein
 verschieber PH
 tiellen (d.h.
 ten Wellen OS1
 5 PHM012 erfolge
 schiedenen Lau
 bei das Produk
 der Kreisfrequ
 Größenordnung
 10 oder viel größ
 breite des Las
 einer Frequenz
 weise wirkt si
 500 MHz kaum a
 15 aus, kann aber
 differenzbetra
 1 m Lichtwelle
 len. Die Modul
 hertzbereich 1
 20 Während bisher
 Signale beschr
 für PolSK-Sign
 2, diesmal ink
 25 dex „3“ tragen
 Umtastung drei
 tor/Detektor S
 Gemäß Stand de
 ken eines der
 30 tektierende Te
 die Signale OS
 auftreten. Auf
 PMDC folgt ein
 gleichzeitig T
 35 matoren PT2, P
 Signal auf dre
 teiler PBS1, P

herrührenden Signalen DD21, DD11 des jeweils anderen Empfängerteils keine Korrelation besteht. Fehlende Korrelation bedeutet Abwesenheit von Nebensprechen. In vorteilhafter Weise wird deshalb der Polarisationstransformator PT so eingestellt, daß an den Ausgängen des Empfängers RX1 Signale DD11, DD21 optimaler Qualität und niedrigster Bitfehlerquoten zur Verfügung stehen. Dies gilt auch für die Signale DD12, DD22 der Ausgänge des Empfängers RX2. Diese Signale entsprechen den durch ein vorangestelltes "S" gekennzeichneten sendeseitigen Modulationssignalen SDD11, SDD12, SDD21, SDD22.

Eine Vereinfachung ist dann möglich, wenn bei verbesserter Halbleitertechnologie oder niedrigerer Bitrate Entscheidungen mit der vollen Bittaktfrequenz vorgenommen werden können. In diesem Fall besitzen die Baugruppen DDM1, DDM2 keinen zweiten Ausgang und sind lediglich Entscheider. Die Baugruppen DM1, DM2 können fortgelassen werden, so daß die Analogsignale D11, D21 den Signalen ED1, ED2 entsprechen.

Zusätzliche Gütesignalgewinner und Regler RP1, RP2, RP3, welche auch zu einer gemeinsamen Baugruppe RP zusammengefaßt werden können und welche mindestens ein Stellsignal SP1, SP2, SP3 erzeugen, können wie in den Proc. 9th European Conference on Integrated Optics (ECIO'99), April 14-16, 1999, Turin, Italien, postdeadline-paper-Band, S. 17-19 (D. Sandel et al., "Integrated-optical polarization mode dispersion compensation for 6-ps, 40-Gb/s pulses") beschrieben zur Regelung des PMD-Kompensators PMDC eingesetzt werden.

Der Polarisationstransformator PT ist prinzipiell ebenso aufgebaut wie der PMD-Kompensator PMDC, welcher in der gerade genannten Literaturstelle näher beschrieben ist und einfach die Kaskade mehrerer Modenwandler als Polarisationstransformatoren darstellt. Die Steuersignale des Reglers RG werden dem Polarisationstransformator PT zugeführt, während die Steuersignale des Reglers RP dem PMD-Kompensator PMDC zugeführt werden.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Verbindungen zwischen den
tationsstrahlteiler PBSS
le Lichtwellenleiter vor-
° tordiert ist, oder es
Modenwandler vorgesehen.
Signale OS1, OS2 nach der
tig, die optischen Lauf-
oren MO1, MO2 laufenden
: und Polarisations-
en. Genaugenommen sollte
tag |DT1-DT2| und Kreis-
sehr klein gegen 1 sein.

(üblichen hohen Datenra-
n der Regel dadurch, daß
DT2| klein gegenüber ei-

onsmultiplexsignale mit
s Nebensprechfrei aus-
zwischen den Impulsen
und den Impulsen der an-
als Laufzeitdifferenzbe-
eradzahliges Vielfaches
in der Regel erfüllen.

aufwendig oder nicht
erenz zwischen den Teil-
inzuregeln, kann trotz-
en könnte, minimiert
ischen den Teilsignalen
all von 0° bis 360° im
hen wird. Um dieses zu
der TX1, TX2 in Figur 1
eils einem unabhängigen
enzphasenwinkel frei
ne differentielle Pha-
igen vorzunehmen. Dies

RX2 idealerwe
Interferenz k
selbst wenn d
noch nicht au
5 weisendes Dif
Ausgangssigna
optischen Teil
zwischeneinan
tritt. Mit di
10 sches Übertra
rantesten bez
lung eignet s
stransformato
sen Verzögeru
15 eignete Anord
Techn. 8(1990
4(1992), S. 5

Voraussetzung
20 DIFED12 auf d
OS2 kohärent
besser noch e
Einschwingzei
durch die in
25 TX1, TX2 in d
frequenzsigna
mehrere MHz b
gemäß **Figur 9**
chen. Hier wi
30 eine Koppler
wellenleiter
onserhaltender
gnale werden
die Modulation
35 prägt und so
den. Diese wei
Polarisations:

ansformatoren PT2', PT3'
 Polarisationstransformato-
 OUT11, OUT12, OUT21,
 nsstrahlteiler sind Photo-
 PD32 angeschlossen, de-
 mieren SU1, SU2, SU3 zu
 ED1, ED2, ED3 weiterverar-

elung der Polarisation-
 ch Betragsminimierung der
 L12, L21, L22, L31, L32 ge-
 durch Korrelatoren K12,
 en Korrelationsprodukte

atoren PT1, PT2, PT3 noch
 ch als elektrische detek-
 s elektrische Detektions-
 der Stokes-Parameter S1,
 gnals am Eingang EI sind.
 stransformatoren können
 gestaltet werden, daß je-
 B. OS1 mit horizonta-
 durch Einstellung von
 mit $\pm 45^\circ$ Erhebungswinkel
 und OS3 mit rechts-
 ED3 durch Einstellung von
 arisationsorthogonalität
 en PT2' und PT3' feste Po-
 a gerade genannten Beispiel
 ein linear mit 45° oder
 Signal am dem Leistungs-
 Polarisationstransforma-
 tikal polarisiertes Signal
 S2 zugewandten Ausgang
 PT2' umwandeln. Ebenso muß

kann durch e
 verschieber
 tiellen (d.h
 ten Wellen O
 5 PHM012 erfol
 schiedenen L
 bei das Prod
 der Kreisfre
 Größenordnun
 10 oder viel gr
 breite des L
 einer Freque
 weise wirkt
 500 MHz kaum
 15 aus, kann ab
 differenzbet
 1 m Lichtwel
 len. Die Mod
 hertzbereich
 20 Während bish
 Signale besc
 für PolSK-Si
 2, diesmal i
 25 dex „3“ trag
 Umtastung dr
 tor/Detektor
 Gemäß Stand
 ken eines de
 30 tektierende
 die Signale
 auftreten. A
 PMDC folgt e
 gleichzeitig
 35 matoren PT2,
 Signal auf d
 teiler PBS1,

nen kombiniert. Dazu müssen für die Verbindungen zwischen den Modulatoren MO1, MO2 und dem Polarisationsstrahlteiler PBSS z.B. ebenfalls polarisationserhaltende Lichtwellenleiter vorgesehen werden, von denen einer um 90° tordiert ist, oder es ist in einer dieser Verbindungen ein Modenwandler vorgesehen. Um eine möglichst hohe Kohärenz der Signale OS1, OS2 nach der Kombination zu erzielen, ist es günstig, die optischen Laufzeiten DT1, DT2 der durch die Modulatoren MO1, MO2 laufenden Teilsignale zwischen Strahlteiler PMC und Polarisationsstrahlteiler PBSS gleich groß zu machen. Genaugenommen sollte das Produkt aus Laufzeitdifferenzbetrag $|DT1-DT2|$ und Kreisfrequenz Linienbreite des Lasers $\Delta\nu$ sehr klein gegen 1 sein.

Dies erreicht man bei den gegenwärtig üblichen hohen Datenraten und geringen Laserlinienbreiten in der Regel dadurch, daß man den Laufzeitdifferenzbetrag $|DT1-DT2|$ klein gegenüber einer Symboldauer gestaltet.

Es ist jedoch bekannt, daß Polarisationsmultiplikalsignale mit Return-to-zero-Impulsen sich besonders nebensprechfrei ausbreiten, wenn eine halbe Symboldauer zwischen den Impulsen einer Polarisation (des Signals OS1) und den Impulsen der anderen Polarisation (des Signals OS2) als Laufzeitdifferenzbetrag $|DT1-DT2|$ vorliegt, oder ein ungeradzahliges Vielfaches davon. Auch diese Forderung läßt sich in der Regel erfüllen.

In Fällen, in denen eine Regelung zu aufwendig oder nicht schnell genug wäre, um die Phasendifferenz zwischen den Teilsignalen OS1, OS2 auf 90° oder -90° einzuregeln, kann trotzdem dem maximale Interferenz, die auftreten könnte, minimiert werden, indem man den Phasenwinkel zwischen den Teilsignalen OS1, OS2 so moduliert, daß das Intervall von 0° bis 360° im wesentlichen gleichverteilt überstrichen wird. Um dieses zu erreichen, sind entweder die zwei Sender TX1, TX2 in Figur 1 wie dies die Figur suggeriert mit jeweils einem unabhängigen Laser auszustatten, so daß der Differenzphasenwinkel frei fluktuert, oder es ist in Figur 9 eine differenzielle Phasemodulation zwischen den beiden Zweigen vorzunehmen. Dies

kann durch einen oder zwei Phasenmodulatoren oder Frequenzverschieber PHM01, PHM02 oder einen entsprechenden differentiellen (d.h. zwischen den orthogonal zueinander polarisierten Wellen OS1, OS2) Phasenmodulator oder Frequenzverschieber PHM012 erfolgen. Noch einfacher ist es, einen von Null verschiedenen Laufzeitdifferenzbetrag $|DT1-DT2|$ vorzusehen, wobei das Produkt dieses Laufzeitdifferenzbetrags $|DT1-DT2|$ mit der Kreisfrequenz-Linienbreite des Lasers LA mindestens die Größenordnung 0,5 besitzt, besser aber gleich 1 oder größer oder viel größer sein könnte. Falls die natürliche Linienbreite des Lasers LA dazu nicht ausreicht, kann dieser mit einer Frequenzmodulation FM beaufschlagt werden. Beispielsweise wirkt sich eine Frequenzmodulation mit einem Hub von 500 MHz kaum auf die Sendebandbreite eines 10Gb/s-Senders aus, kann aber die genannte Bedingung im Fall eines Laufzeitdifferenzbetrags $|DT1-DT2|$ der Größe 5 ns (entsprechend etwa 1 m Lichtwellenleiter-Längendifferenz) bereits mühelos erfüllen. Die Modulationsfrequenz kann z.B. im Hertz- bis Megahertzbereich liegen.

Während bisher Ausführungsbeispiele der Erfindung für PolDM-Signale beschrieben wurden, sollen jetzt Ausführungsbeispiele für PolSK-Signale beschrieben werden. Der Empfänger der Figur 2, diesmal inklusive Baugruppen und Signalen, welche den Index „3“ tragen, ist auch zum Empfang von 8stufigem PolSK mit Umtastung dreier Stokes-Parameter geeignet, wenn der Separator/Detektor SD beispielsweise gemäß **Figur 6** ausgeführt wird. Gemäß Stand der Technik seien die Modulationszustände die Ecken eines der Poincaré-Kugel einbeschriebenen Würfels. Zu detektierende Teilsignale des gesamten optischen Signals seien die Signale OS1, OS2, OS3, die am Eingang EI des Bausteins auftreten. Auf einen gemeinsamen optionalen PMD-Kompensator PMDC folgt ein endloser Polarisationstransformator PT1, gleichzeitig Teile der Funktionen der Polarisationstransformatoren PT2, PT3 beinhaltet. Ein Leistungsteiler TE teilt das Signal auf drei Kanäle auf, die jeweils Polarisationsstrahlteiler PBS1, PBS2, PBS3 enthalten. In zweien dieser Kanäle

sind jedoch weitere Polarisationstransformatoren PT2', PT3' erforderlich, welche Teile von der Polarisationstransformatoren PT2, PT3 sind. An den Ausgängen OUT11, OUT12, OUT21, OUT22, OUT31, OUT32 der Polarisationsstrahlteiler sind Photodioden PD11, PD12, PD21, PD22, PD31, PD32 angeschlossen, deren Ausgangssignale mittels Subtrahierern SU1, SU2, SU3 zu elektrischen detektierten Signalen ED1, ED2, ED3 weiterverarbeitet werden.

- 5
- 10 Erfindungsgemäß erfolgt die Einregelung der Polarisations-
stransformatoren PT1, PT2, PT3 durch Betragsminimierung der
mit Hilfe von Tiefpaßfiltern L11, L12, L21, L22, L31, L32 ge-
bildeten zeitlichen Mittelwerte der durch Korrelatoren K12,
K23, K31, K21, K32 und K13 gebildeten Korrelationsprodukte
15 K12, K23, K31, K21, K32 und K13.

- Solange die Polarisationstransformatoren PT1, PT2, PT3 noch
nicht eingeregelt sind, ergeben sich als elektrische detek-
tierte Signale ED1, ED2, ED3 jeweils elektrische Detektions-
20 signale, welche Linearkombinationen der Stokes-Parameter S1,
S2, S3 des empfangenen optischen Signals am Eingang EI sind.
Durch Einstellung der Polarisationstransformatoren können
diese Linearkombination gerade so gestaltet werden, daß je-
weils das gewünschte Teilsignal, z.B. OS1 mit horizonta-
25 ler/vertikaler Polarisation für ED1 durch Einstellung von
PT1, OS2 mit linearer Polarisation mit $\pm 45^\circ$ Erhebungswinkel
für ED2 durch Einstellung von PT2 und OS3 mit rechts-
/linkszirkularer Polarisation für ED3 durch Einstellung von
PT3, detektiert wird. Perfekte Polarisationsorthogonalität
30 vorausgesetzt, können die Baugruppen PT2' und PT3' feste Po-
larisationstransformatoren sein. Im gerade genannten Beispiel
muß Polarisationstransformator PT2' ein linear mit 45° oder
 -45° Erhebungswinkel polarisiertes Signal am dem Leistungs-
teiler TE zugewendeten Ausgang des Polarisationstransforma-
35 tors PT1 in ein horizontal oder vertikal polarisiertes Signal
am dem Polarisationsstrahlteiler PBS2 zugewandten Ausgang
dieses Polarisationstransformators PT2' umwandeln. Ebenso muß

Polarisationstransformator PT3' ein rechts- oder linkszirkular polarisiertes Signal am dem Leistungsteiler TE zugewendeten Ausgang des Polarisationstransformators PT1 in ein horizontal oder vertikal polarisiertes Signal am dem Polarisationstrahlteiler PBS3 zugewandten Ausgang dieses Polarisationstransformators PT3' umwandeln. Die Polarisationstrahlteiler PBS1, PBS2, PBS3 separieren nämlich diese horizontal oder vertikal polarisierten Signale.

10 In diesem Fall reicht es auch aus, zwei Korrelatoren einzusetzen. Mit Bezug auf Figur 2 dürfen dies aber nicht solche Korrelatoren sein, die bei Vertauschung der Indizes identisch sind. Beispielsweise dürfen in diesem Fall die Korrelatoren K12 und K13 ausgewählt werden. Sinnvoller ist es aber auch in
15 einem solchen Spezialfall, mindestens drei Korrelatoren, z.B. K12, K23 und K31 oder besser noch die gezeichneten 6 Korrelatoren K12, K23, K31, K21, K32 und K13 einzusetzen.

Eine platzsparende Integration der optischen Komponenten auf
20 einem Lithiumniobatsubstrat SUB mit X-Schnitt und Y-Ausbreitung läßt sich ebenfalls anhand Figur 6 erläutern: Gemäß der Offenbarung in den deutschen Patentanmeldungen 198 58 148.3, 199 19 576.5 besteht der PMD-Kompensator PMDC aus Modenwandlern Pa zur Vermeidung von Gleichspannungsdrift und
25 zur eigentlichen PMD-Kompensation vorgesehenen Modenwandlern P1 ... Pn-1. Letztere können bei Verzicht auf PMD-Kompensation auch fortgelassen werden. Polarisationstransformator PT1 besteht aus einem letzten Modenwandler Pn. Polarisationstransformatoren PT2' und PT3' sind ebenfalls jeweils
30 Modenwandler. Alle diese Modenwandler sind gemäß IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. QE-18, Nr. 4, April 1982, Seite 767 bis 771 ausgeführt. Modenwandler Pa erhält Sinus- und Cosinussignale mit einer halbierten niedrigen Kreisfrequenz $\Omega/2$, Modenwandler P1 ... Pn sowie PT2' und PT3' erhalten Si-
35 nus- und Kosinussignale mit der Kreisfrequenz Ω . Polarisationstransformatoren PT2' und PT3' sind entweder um ein ungeradzahliges Viertel einer Schwebungswellenlänge als optische

Weglänge versetzt angebracht (d.h., die optischen Weglängen und, bei gleichartiger Beschaffung der Wellenleiter auch die Abstände der Eingänge der Polarisationstransformatoren PT2' und PT3' vom Signalverzweigungspunkt innerhalb des Leistungsteilers TE unterscheiden sich um ein Viertel einer Schwingungswellenlänge), oder die Signale in PT2' und PT3' sind um näherungsweise 90° gegeneinander versetzt. Bei eingeschränkter Modulationssignalsorthogonalität im Stokes-Raum können optischer Weglängenunterschied oder dieser Phasenwinkelversatz u.U. etwas anders gewählt werden. Die beiden Polarisationstransformatoren PT2' und PT3' führen (im Idealfall vollständiger Modulationssignalsorthogonalität im Stokes-Raum) jeweils hälftige Modenkonversion (oder -rückkonversion) durch, bei eingeschränkter Modulationssignalsorthogonalität u.U. etwas größere oder kleinere. Wenn Polarisationstransformator PT2' 45° -Polarisation in TE-Polarisation umwandelt, dann tut dies Polarisationstransformator PT3' für zirkulare, so daß die TE-TM-Polarisationsstrahlteiler PBS1, PBS2, PBS3 die gewünschten Signale erhalten.

Beim im Ausnahmefall auftretenden Ausfall eines oder mehrerer der drei Empfangsteilsignale OS1, OS2, OS3 oder Teile RX1, RX2, RX3 des Empfängers können die Informationen der von diesem Ausfall betroffenen Korrelatoren fortgelassen werden und es kann auf eine Polarisationsregelung übergegangen werden, welche das Korrelationsprodukt zwischen den Signalen DD_{ij} und D_{ij} ($i = 1 \dots 3$, $j = 1 \dots 2$) maximiert. Analoges gilt auch für Signale mit PolDM.

Läßt man in Figur 2 und 6 die Komponenten mit einer bestimmten Zahl zwischen 1 und 3 im Bezeichner, z.B. „2“ oder „1“ weg, allerdings ohne Berücksichtigung eventuell vorhandener Modenwandler $P_1 \dots P_n$, und bei den Photodioden PD11 ... PD32 und Polarisationsstrahlteilerausgängen OUT11 ... OUT32 nur diejenigen, welche diese Zahl als erste der Zahlen im Bezeichner tragen, und läßt auch die dazugehörigen Leitungen und Signale weg, so erhält man einen Empfänger für 4stufiges

PolSK mit Modulation zweier Stokes-Parameter. Die Modulationszustände sind beispielsweise die Ecken eines einem Großkreis der Poincaré-Kugel einbeschriebenen Quadrats.

- 5 In diesem Fall ergibt sich die Besonderheit, daß Nebensprechfreiheit der beiden Kanäle noch nicht automatisch maximale Nutzsignale in diesen zwei Kanälen bewirken. Dieses Manko läßt sich einfach dadurch beheben, daß zusätzlich zu der beschriebenen Minimierung von Korrelationsprodukten auch eine
- 10 Maximierung der Leistungen der Nutzsignale durchgeführt wird. Eine solche Maximierung eines Nutzsignals zum Zweck der Polarisationsregelung ist schon aus Electron. Lett. 22(1986)15, S. 772-773 bekannt. Es müssen also die Leistungen der zwei vorhandenen der drei Signale ED1, ED2, ED3 maximiert werden.
- 15 Dies ist in Figur 2 dadurch berücksichtigt, daß Leistungsdetektoren LD1, LD2, LD3 vorhanden sind, welche die Leistungen der aus den Signalen ED1, ED2, ED3 gewonnenen oder mit diesen Signalen ED1, ED2, ED3 identischen Signale D11, D21, D31 detektieren. Nach Filterung durch Tiefpaßfilter LDL1, LDL2,
- 20 LDL3 werden die Ausgangssignale der Leistungsdetektoren LD1, LD2, LD3 den Reglern RG1, RG2, RG3, welche Teil des Reglers RG sind, zugeführt und beeinflussen dort die Steuersignale ST1, ST2, ST3 im Sinne einer Maximierung der Signale D11, D21, D31, ED1, ED2, ED3. Wie im vorhergehenden Absatz beschrieben, fallen in Figur 2 und deshalb auch in diesem Absatz die Komponenten mit einer bestimmten Zahl zwischen 1 und 3 im Bezeichner weg, da das Ausführungsbeispiel einen Empfänger für 4stufiges PolSK mit Modulation zweier Stokes-
- 25 Parameter betrifft.
- 30 Zur Vermeidung polarisationsabhängiger Verluste im Leistungsteiler TE im Falle seiner Ausführung als Teil eines integriert-optischen Bauteils kann es zweckmäßig sein, diesen schon vor den Polarisationstransformatoren PT1, PT2, PT3 und ggf. PMD-Kompensatoren PMDC1, PMDC2, PMDC3 anzuordnen und
- 35 beispielsweise als faseroptischen Koppler mit gleichmäßiger Aufteilung des Eingangssignals auf drei Ausgangsarme auszuführen. Dies ist in Figur 7 gezeigt. Diese Anordnung ähnelt

der in Figur 5 dargestellten, besitzt jedoch drei Kanäle für Ausgangssignale und verwendet jeweils beide Ausgänge OUT11, OUT12, OUT21, OUT22, OUT31, OUT32 der Polarisationsstrahlteiler PBS1, PBS2, PBS3.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Übertragung optischer Signale (OS1, OS2, OS3) mittels Polarisationsmultiplex oder Polarisationsumtastung, welche in Empfängern (RX1, RX2) detektiert werden, dadurch gekennzeichnet, daß in einem Korrelator (K12, K13, K21, K23, K31, K32) ein Korrelationsprodukt (KP11, KP12, KP21, KP22, KP31, KP32) zwischen einem Analogsignal (D11, D21, D31) eines Empfängers (RX1, RX2, RX3) und einem Digitalsignal (DD11, DD21, DD31) eines anderen Empfängers (RX1, RX2, RX3) gebildet werden, daß der Betrag des zeitlichen Mittelwerts dieses Korrelationsprodukts (KP11, KP12, KP21, KP22, KP31, KP32) durch einen Regler (RG1, RG2, RG3, RG), welcher einen Polarisationstransformator (PT1, PT2, PT3) steuern kann, wenigstens näherungsweise minimiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dieses Signal (DD11, DD21, DD31) ein Ausgangssignal eines Entscheiders (DDM1, DDM2, DDM3) ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Beträge der Mittelwerte mehrerer Korrelationsprodukte (KP11, KP12, KP21, KP22, KP31, KP32) minimiert werden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Leistung mindestens eines analogen Signals (D11, D21, D31) eines Empfängers (RX1, RX2, RX3) maximiert wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Übertragung dieser optischen Signale (OS1, OS2, OS3) durch vierstufige Polarisationsumtastung erfolgt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
daß für Polarisationsmultiplexsignale die tiefpaßgefilterte
Differenz (DIFED12) zwischen Analogsignalen (ED1 und ED2 oder
5 D11, D12 und D21, D22) zweier Empfänger (RX1, RX2) gebildet
und durch diesen Regler (RG1, RG2, RG) wenigstens näherungs-
weise auf den Wert Null eingeregelt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6,
10 dadurch gekennzeichnet,
daß diese optischen Signale (OS1, OS2) kohärent sind, vor-
zugsweise durch Strahlteilung in einem Koppler (PMC), Modula-
tion der so gewonnenen Signale in Modulatoren (MO1, MO2) zur
Erzeugung dieser optischen Signale (OS1, OS2) und Kombination
15 dieser optischen Signale (OS1, OS2) mit orthogonalen Polari-
sationen in einem Polarisationsstrahteiler (PBSS) gewonnen
werden.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7,
20 dadurch gekennzeichnet,
daß die Laufzeiten (DT1, DT2) dieser optischen Signale (OS1,
OS2) zwischen Strahlteilung und Kombination mit orthogonalen
Polarisationen sich um die ein ungeradzahliges Vielfache der
Hälfte einer Symboldauer unterscheiden.

25 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
daß das Produkt aus dem Differenzbetrag ($|DT1-DT2|$) dieser
Laufzeiten (DT1, DT2) und der Kreisfrequenz-Linienbreite der
30 Quelle (LA) dieser optischen Signale (OS1, OS2) größer als
etwa 0,5 ist.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
35 daß dieser Regler (RG1, RG2, RG) durch seine Steuersignale
(ST1, ST2) einen elliptischen Polarisationstransformator (PT)
ansteuern kann.

11. Empfänger für optischer Signale (OS1, OS2) mit Polarisationsmultiplex oder Polarisationsumtastung mit einem einen Polarisationstransformator (PT1) enthaltenden Separator/Detektor (SD) und Empfängern (RX1, RX2),
dadurch gekennzeichnet,
daß ein Empfänger (RX1, RX2, RX3) vorhanden ist, an welchen ein Korrelator (K12, K13, K21, K23, K31, K32) angeschlossen ist, der ein Korrelationsprodukt (KP11, KP12, KP21, KP22, KP31, KP32) zwischen einem Analogsignal (D11, D21, D31) eines dieser Empfänger (RX1, RX2, RX3) und einem Digitalsignal (DD11, DD21, DD31) eines anderen dieser Empfänger (RX1, RX2, RX3) bilden kann,
daß ein Regler (RG1, RG2, RG3, RG) vorgesehen ist, welcher einen Polarisationstransformator (PT1, PT2, PT3) so steuern kann, daß der Betrag des zeitlichen Mittelwerts dieses Korrelationsprodukts (KP11, KP12, KP21, KP22, KP31, KP32) minimiert wird.
12. Empfänger nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet,
daß ein Entscheider (DDM1, DDM2, DDM3) vorhanden ist, welcher dieses Signal (DD11, DD21, DD31) erzeugen kann.
13. Empfänger nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet,
daß einer dieser Entscheider (DDM1, DDM2, DDM3) gleichzeitig ein Demultiplexer ist und daß ein analoger Demultiplexer (DM1, DM2, DM3) vorhanden ist, welcher eines dieser Analogsignale (D11, D21, D31) erzeugen kann.
14. Empfänger nach einem der Ansprüche 11 bis 12,
dadurch gekennzeichnet,
daß dieser Regler (RG1, RG2, RG3, RG) einen Polarisationstransformator (PT1, PT2, PT3) so steuern kann, daß außerdem der Betrag des zeitlichen Mittelwerts der Leistung eines dieser Analogsignale (D11, D21, D31) maximiert wird.

15. Empfänger nach Anspruch 14,
dadurch gekennzeichnet, .
daß zwei dieser Empfänger (RX1, RX2; oder RX1, RX3; oder RX2,
5 RX3) vorgesehen sind, welche durch vierstufige Polarisations-
sumtastung übertragene optische Signale (OS1, OS2, OS3) emp-
fangen.

16. Empfänger nach einem der Ansprüche 11 bis 13,
10 dadurch gekennzeichnet,
daß zwischen einem Korrelator (K12, K13, K21, K23, K31, K32)
und einem Regler (RG1, RG2, RG3, RG) ein Tiefpaßfilter (L11,
L12, L21, L22, L31, L32) vorgesehen ist.

15 17. Empfänger nach einem der Ansprüche 11 bis 13,
dadurch gekennzeichnet,
daß ein Polarisationstransformator (PT1, PT2, PT3) einen Mo-
denwandler (Pn, PT2', PT3') aufweist.

20 18. Empfänger nach einem der Ansprüche 11 bis 13,
dadurch gekennzeichnet,
daß für Polarisationsmultiplexsignale ein Subtrahierer
(SUBED12) und eine Einrichtung zur Tiefpaßfilterung(LED1,
LED2, LED12, SUBED12) vorgesehen ist, welche eine tiefpaßge-
25 filterte Differenz (DIFED12) zwischen Analogsignalen (ED1 und
ED2 oder D11, D12 und D21, D22) zweier Empfänger (RX1, RX2)
bilden, daß diese tiefpaßgefilterte Differenz (DIFED12) die-
sem Regler (RG1, RG2, RG) zugeführt wird, der sie wenigstens
näherungsweise auf den Wert Null einregelt.

30 19. Empfänger nach Anspruch 18,
dadurch gekennzeichnet,
daß ein kohärenter Sender (LA) vorgesehen ist, der diese op-
tischen Signale (OS1, OS2) erzeugt.

35 20. Empfänger nach Anspruch 19,
dadurch gekennzeichnet,

daß dieser kohärente Sender (LA) zur Strahlteilung einen Koppler (PMC), Modulatoren (MO1, MO2) zur Erzeugung dieser optischen Signale (OS1, OS2) aus den Ausgangssignalen des Kopplers (PMC) und einen Kombiniierer (PBSS), der diese optischen Signale (OS1, OS2) mit orthogonalen Polarisationen kombiniert, aufweist.

21. Empfänger nach Anspruch 20,
dadurch gekennzeichnet,
10 daß die Verbindungen (MO1, PHMO1, MO2, PHMO2) dieser optischen Signale (OS1, OS2) zwischen Strahlteilung und Kombination mit orthogonalen Polarisationen Laufzeiten (DT1, DT2) aufweisen, die sich um die ein ungeradzahliges Vielfache der Hälfte einer Symboldauer unterscheiden.

15

22. Empfänger nach Anspruch 20 oder 21,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Verbindungen (MO1, PHMO1, MO2, PHMO2) dieser optischen Signale (OS1, OS2) zwischen Strahlteilung und Kombination mit orthogonalen Polarisationen Laufzeiten (DT1, DT2) aufweisen, deren Differenzbetrag ($|DT1-DT2|$) multipliziert mit der Kreisfrequenz-Linienbreite der Quelle (LA) dieser optischen Signale (OS1, OS2) größer als etwa 0,5 ist.

20

23. Empfänger nach einem der Ansprüche 18 bis 21,
dadurch gekennzeichnet,
daß dieser Regler (RG1, RG2, RG) durch seine Steuersignale (ST1, ST2) einen elliptischen Polarisationstransformator (PT) ansteuern kann.

25

30

Zusammenfassung

Empfänger und Verfahren für eine optische Informationsübertragung

5

Ein Empfänger für optische Signale (OS1, OS2, OS3) mit Polarisationsmultiplex oder Polarisationsumtastung enthält Korrelatoren (K12, K13, K21, K23, K31, K32), die Korrelationsprodukte (KP11, KP12, KP21, KP22, KP31, KP32) zwischen einem

10 Analogsignal (D11, D21, D31) eines Empfängers (RX1, RX2, RX3) und einem Digitalsignal (DD11, DD21, DD31) eines anderen Empfängers (RX1, RX2, RX3) bilden, und Regler (RG1, RG2, RG3, RG), welche Polarisationsstransformatoren so steuern, daß die

15 Beträge der zeitlichen Mittelwerte dieser Korrelationsprodukte (KP11, KP12, KP21, KP22, KP31, KP32) wenigstens näherungsweise minimiert werden.

Figur 2

FIG 1

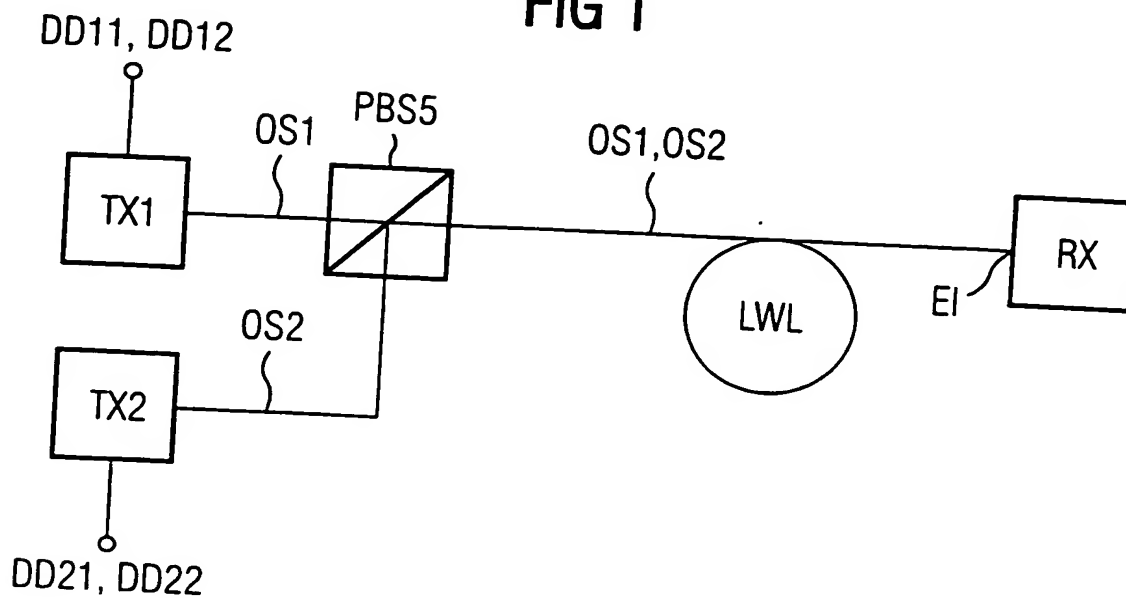


FIG 3

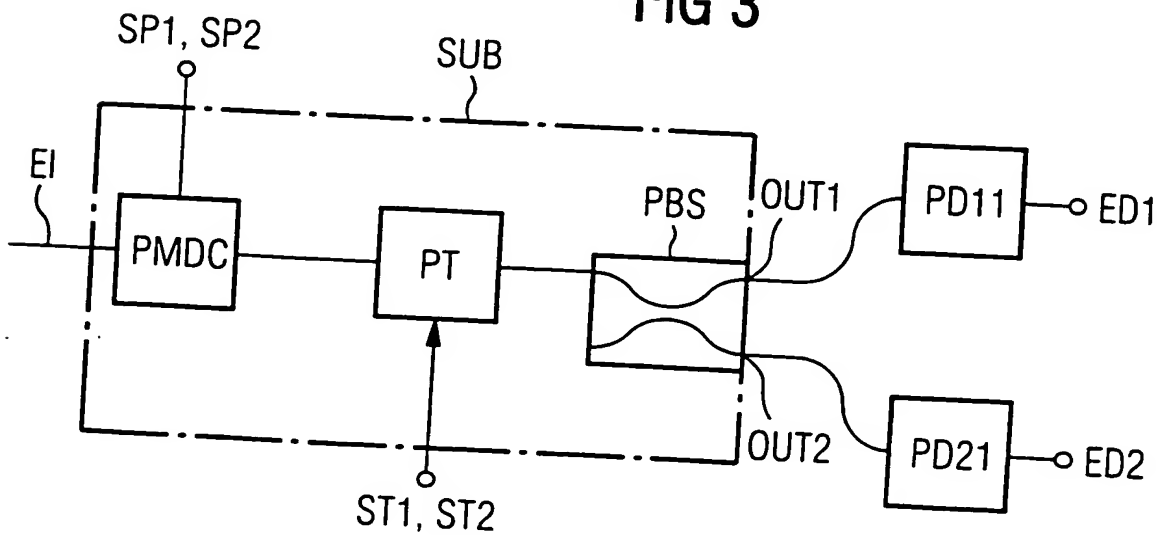


FIG 2

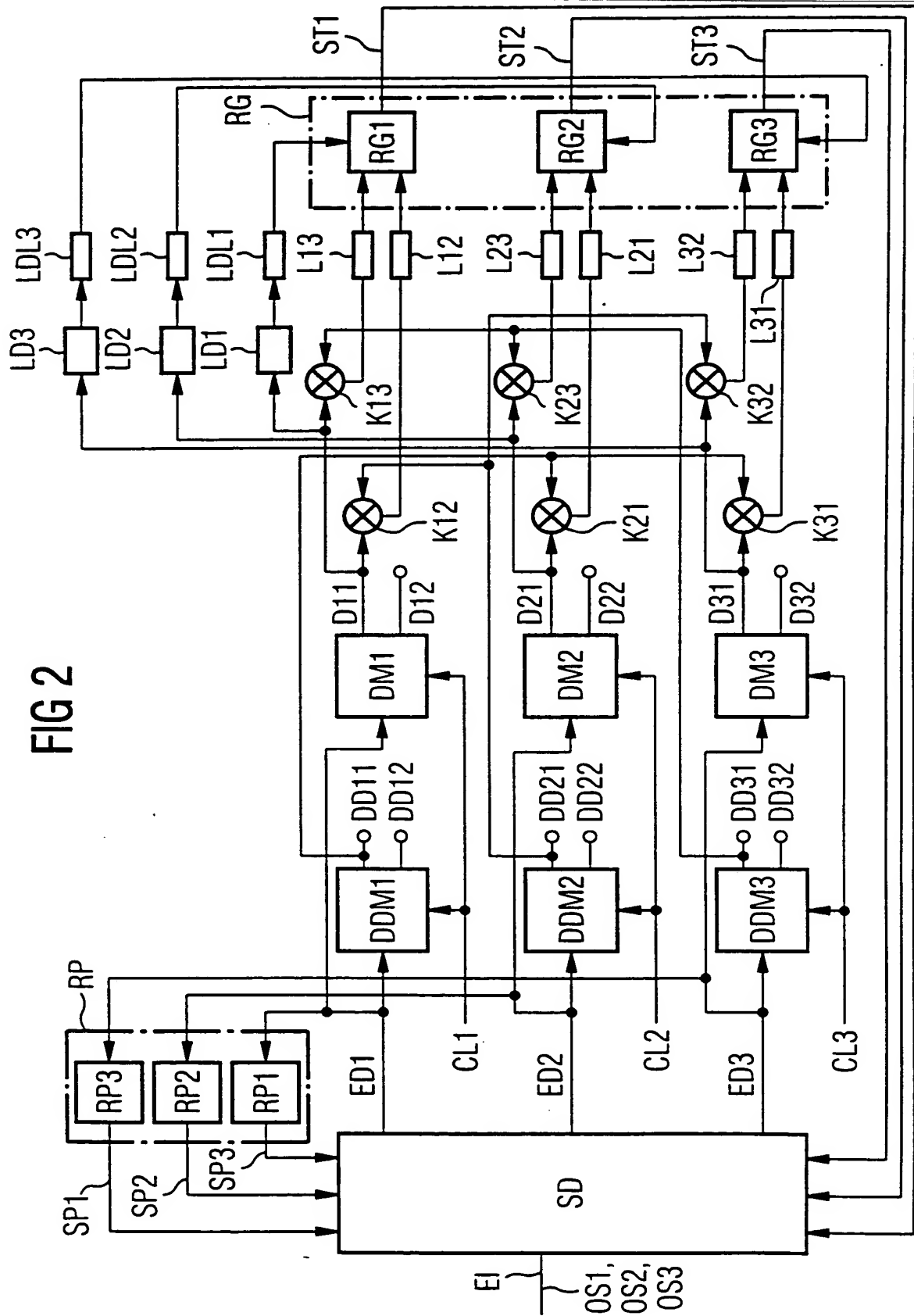


FIG 4

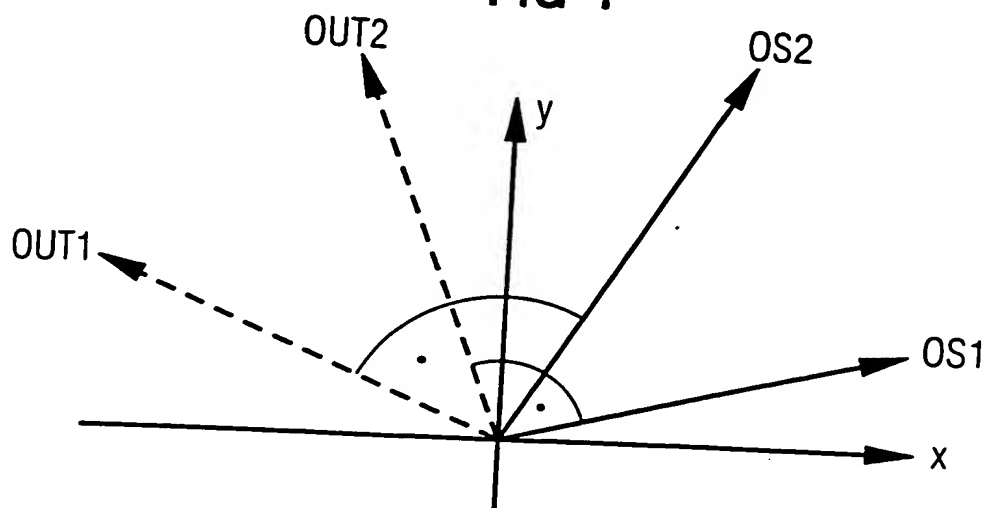
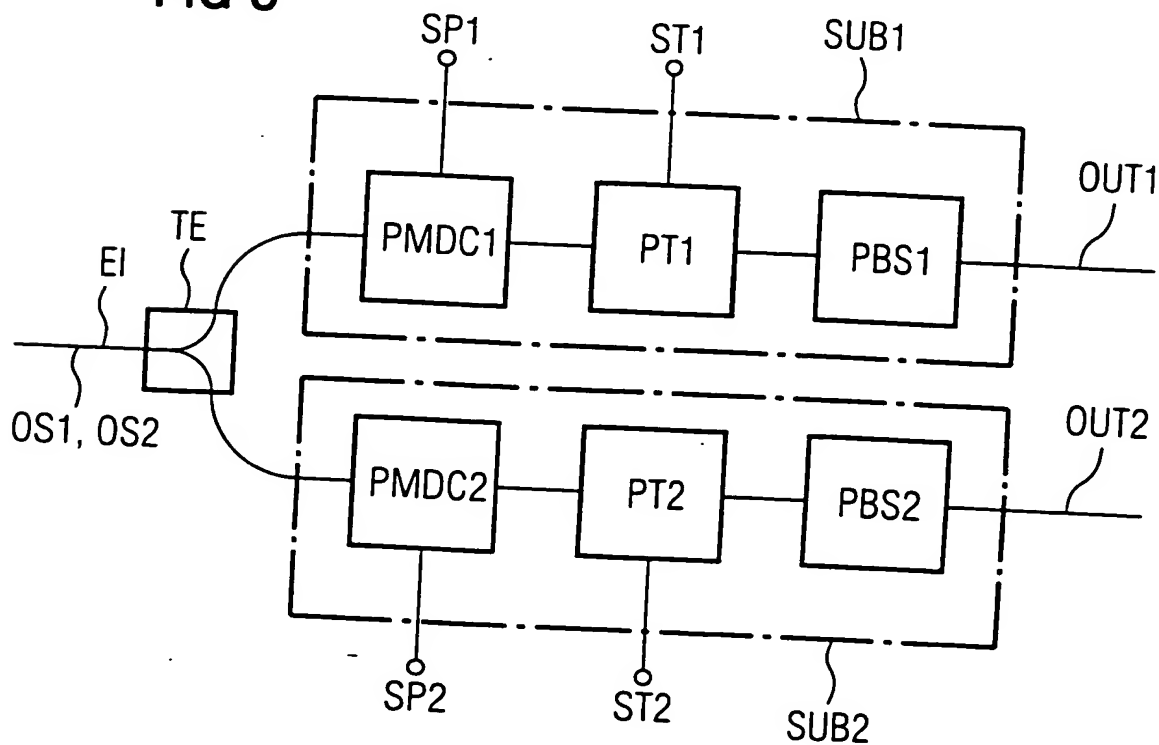


FIG 5



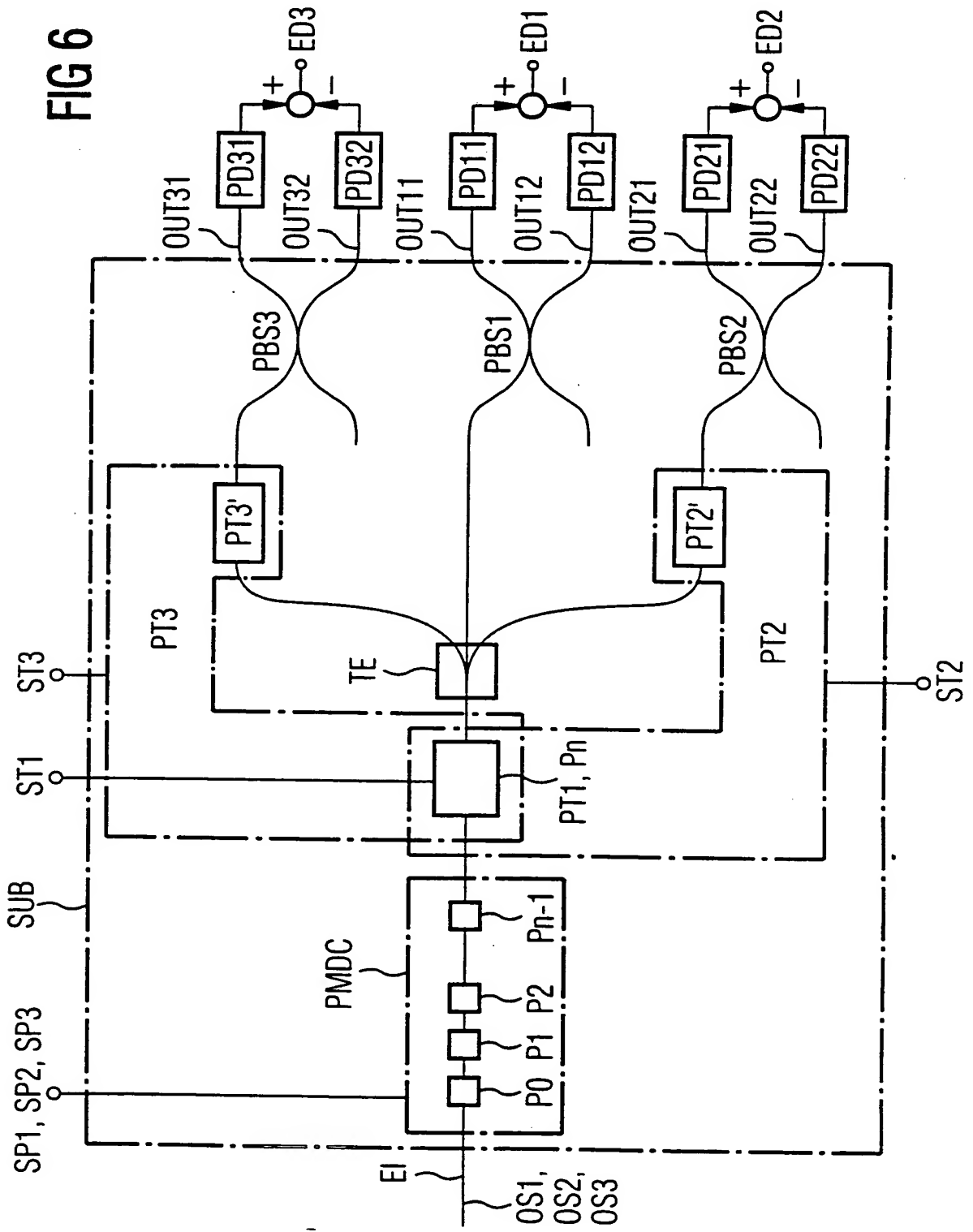


FIG 6

FIG 7

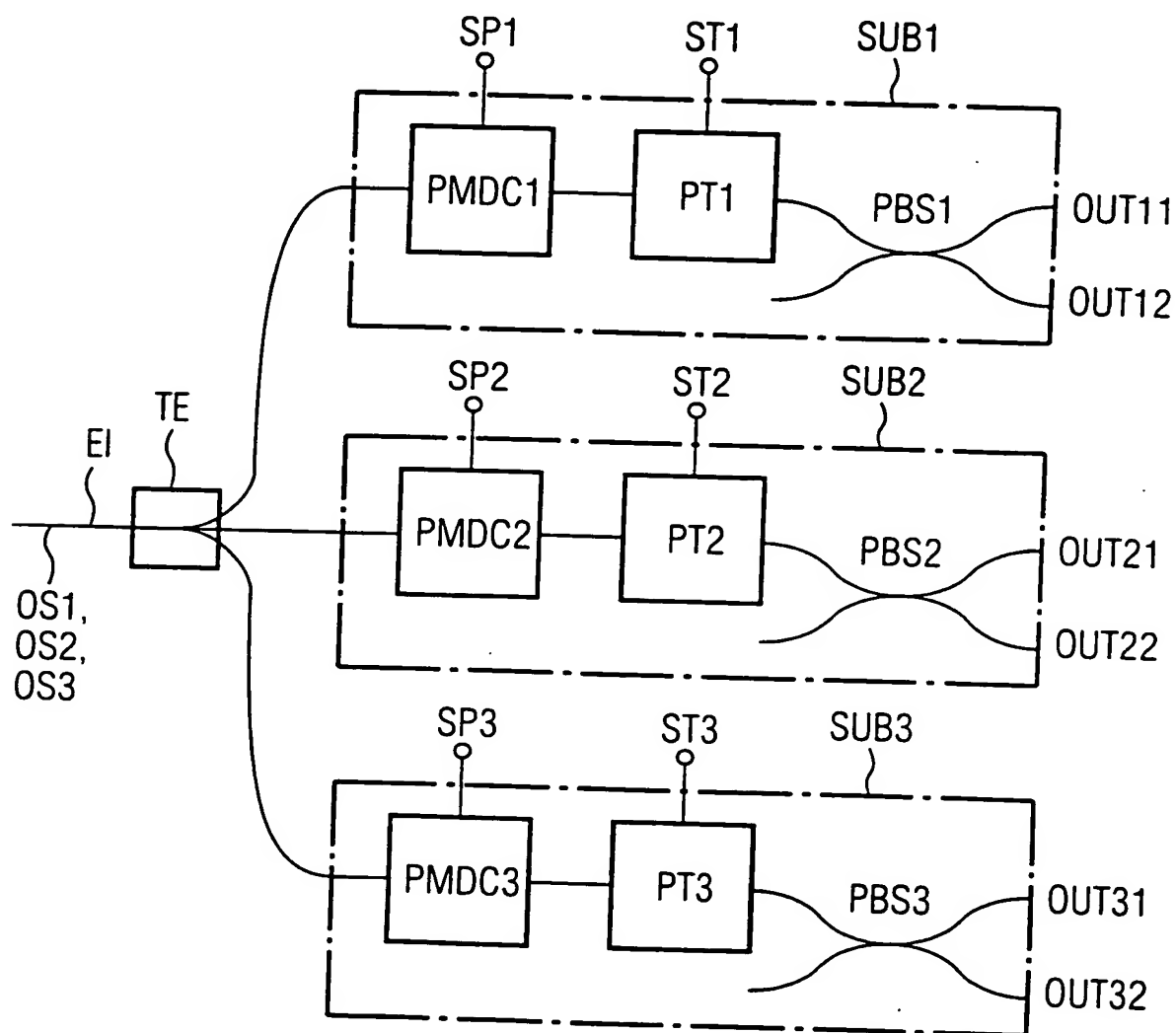


Figure 8

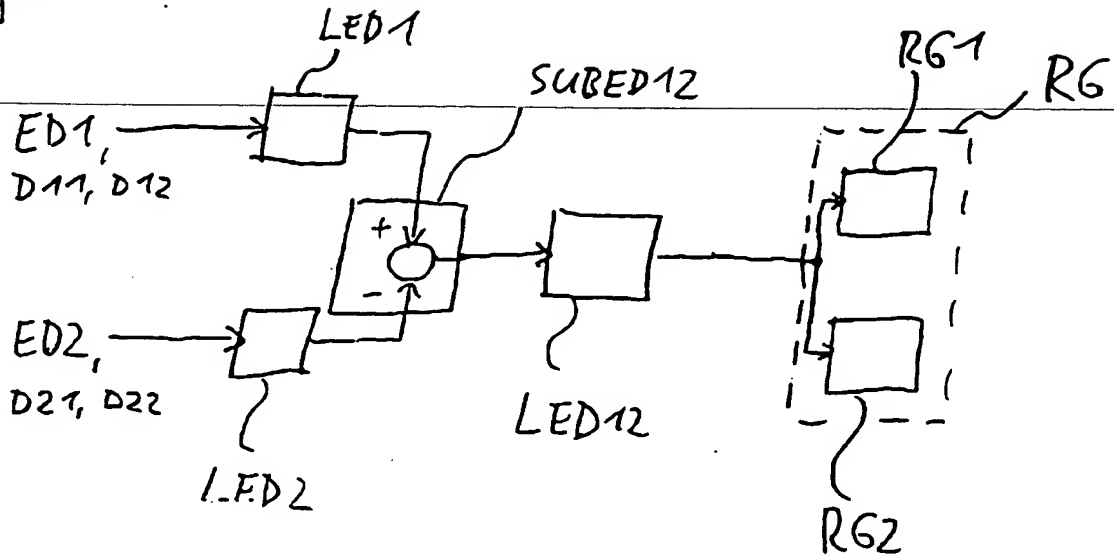
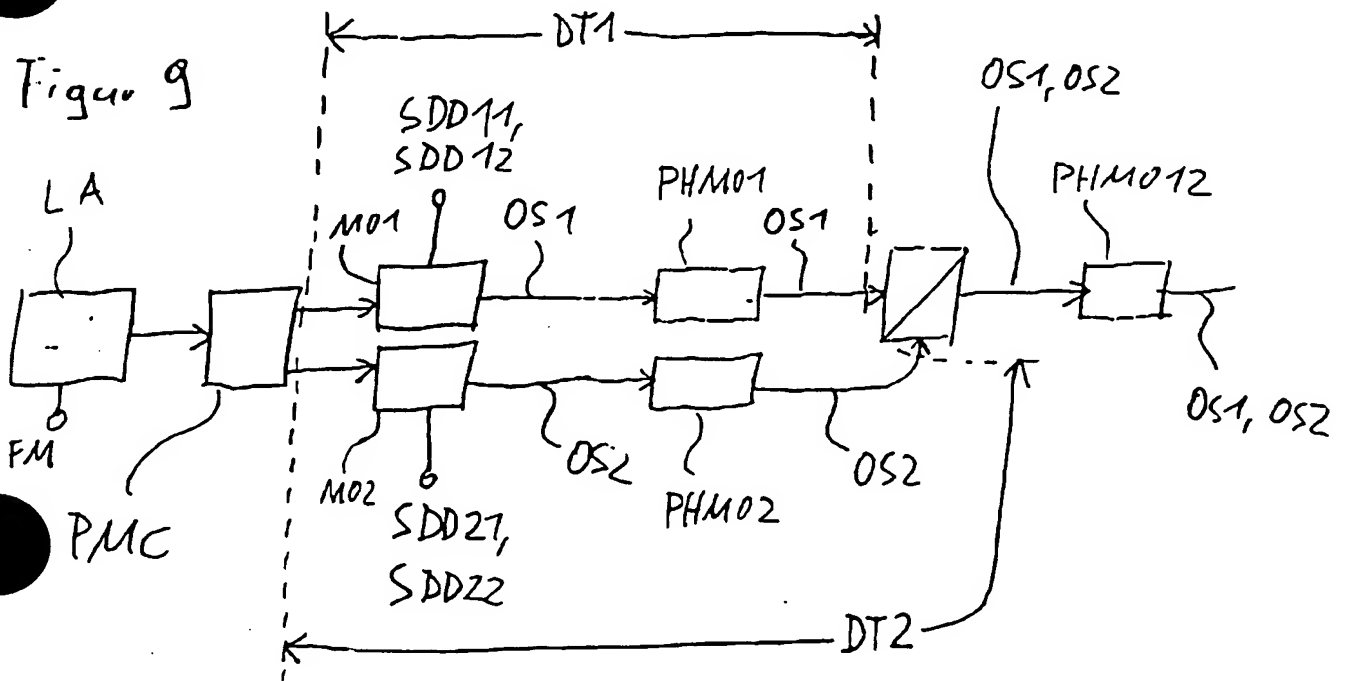


Figure 9



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)